



COMPORTAMENTO DE ESCALA DA VELOCIDADE DO VENTO E DEMAIS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PRÓXIMOS DA SUPERFÍCIE DO MAR NA COSTA DE SALVADOR-BA

¹José Vicente Cardoso Santos; ² Davidson Martins Moreira; ³ Marcelo A. Moret - moret@fieb.org.br;

¹ Centro Universitário SENAI-CIMATEC; Salvador-Ba; prof.vicentecardoso@gmail.com

² Centro Universitário SENAI-CIMATEC; Salvador-Ba;

³ Centro Universitário SENAI-CIMATEC; Salvador-Ba;

Resumo: Os registros de séries temporais que representam variáveis climáticas na Bahia têm as suas bases mais antigas com dados oriundos da estação meteorológica do bairro de Ondina, em Salvador, a sua capital. Estes dados são espaçados à medida que se retrocede no tempo, não obstante a partir do ano de 1964, com a instalação de estações de medições continuadas, a periodicidade de coleta torna-se mais frequente com periodicidade constante possibilitando análises da existência de leis de potência na velocidade do vento em horizontes de longo prazo para a região bem como de outras variáveis associadas, tais como a Pressão atmosférica no nível da estação, a Temperatura de Bulbo Seco, a Temperatura de Ponto de Orvalho e a Umidade Relativa do Ar. Neste cenário o objetivo geral desta pesquisa é registrar a existência de leis de potência, de forma continuada, da velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura (de bulbo seco e de ponto de orvalho) e umidade do ar, na estação de medição de Ondina, Salvador-Ba. Para consolidar estes objetivos utiliza-se uma metodologia híbrida, composta de revisão de literatura, bem como o instrumental matemático lastreado nas análises das estatísticas clássicas destas variáveis, seguindo do método Detrended Fluctuation Analysis (DFA). Por fim conclui-se registrando que existem leis de potência que governam as grandezas climatológicas analisadas no litoral de Salvador-Ba e que as mesmas estão auto-indexadas.

Palavras-Chave: Fontes Renováveis. Complexidade. DFA. Salvador-Ondina.

SCALE BEHAVIOR OF NEAR WIND SURFACE SPEED IN SALVADOR-BA COAST

Abstract: Time series records that represent climate variables in Bahia have their oldest bases with data from the weather station of the neighborhood of Ondina, in Salvador, its capital. These data are spaced as they go back in time, notwithstanding the year 1964, with the installation of continuous measurement stations, the collection periodicity becomes more frequent with constant periodicity allowing analysis of the existence of power laws. Wind velocity over long term horizons for the region as well as other associated variables such as station-level atmospheric pressure, dry bulb temperature, dew point temperature and relative air humidity. In this scenario The general objective of this research is to record the existence of



continuous power laws of wind speed, atmospheric pressure, temperature (dry bulb and dew point) and air humidity at the Ondina measuring station, Salvador. -Ba. To consolidate these objectives we use a hybrid methodology, composed of literature review, as well as mathematical instruments based on the analysis of the classic statistics of these variables, following the Detrended Fluctuation Analysis (DFA) method. Finally, we conclude that there are power laws that govern the climatic quantities analyzed in the coast of Salvador-Ba and that they are self-indexed.

Keywords: Renewable Sources. Complexity. DFA. Salvador-Ondina.

1. INTRODUÇÃO

Os cenários atuais de crise energética mundial fazem ressurgir processos antigos de geração de trabalho e de energia como uma alternativa às demandas crescentes destas fontes [1] ao tempo em que o aumento da eficácia destes processos tem evidenciado que, não apenas os registros históricos destes potenciais pontos de geração de energia mas também as condições de geração são fortes demandas associadas a estes antigos processos, pois agora, não apenas a geração, mas a previsibilidade da mesma bem como o seu volume, fazem parte de um conjunto de informações tão ou igualmente importantes do que apenas a própria factibilidade da mesma.

O estado da Bahia em apenas alguns anos de investimentos já é o segundo maior produtor de energia de matriz eólica do Brasil, quicá o primeiro nos meses vindouros, com capacidade instalada de 2,8 MW e com vistas a dobrar a mesma neste ano vindouro, ou seja, em 2019, registrando assim um crescimento vertiginoso deste mercado, dos seus desdobramentos sociais, econômicos e financeiros além de prover geração de emprego e renda em cenário de crise extrema do país. Evidencia-se que, concomitantemente a este cenário, tem-se o afogamento financeiro dos governos (Federal, Estaduais e Municipais), com registros de existência de 52 projetos de grande porte de implementação de parques eólicos e com mais de 10 grandes empresas globais investindo de forma crescente no setor, no Brasil, e em especial, como já registrado, na Bahia [2].

Não obstante a este cenário tem-se o conhecimento de que o vento é um dos elementos mais complexos do clima, devido á sua frequente instabilidade e complexidade de fatores que contribuem para os seus resultados de velocidade e direção além do fato de que ele contribui significativamente em vários fenômenos como erosão do solo, a dispersão de poluentes, o transporte de pólen e sementes e própria geração da energia com matriz eólica. Concomitantemente outras variáveis também em acúmulo de dados têm importância análoga, a citar a temperatura que também tem características análogas, pois contribui, nos seus diversos aspectos, para descrever e quantificar a dinâmica dos fenômenos climáticos tais como os movimentos verticais dos ventos e as diferenças de pressão e umidade como um todo, gerando-se uma indexação em grau de complexidade maior destas duas variáveis [3].

No aspecto do comportamento destas variáveis, por exemplo a temperatura, tanto a de bulbo seco como a de ponto de orvalho, observa-se que uma semana mais quente é geralmente seguida de uma semana mais fria, que na realidade corresponde à média de duração dos regimes meteorológicos mais frequentes da



região em estudo bem como ciclos com periodicidade inconstante em horizonte cronológico pequeno e comportamentos similares nos ciclos anuais e decenais. No entanto, como alcances mais longos são governados por diferentes processos, como padrões de circulação e às vezes até influenciado por tendências da fenomenologia de mesoescala, por exemplo, o aquecimento global, de forma que o ato de definir uma regra comportamental para estas variáveis ou até mesmo uma correlação de longo alcance, torna-se mais difícil, não com uma única destas variáveis e sobretudo com as demais e em indexação [3].

A análise da correlação de longo alcance em séries temporais de dados coletados sobre as variáveis não estacionárias pode ser consolidada com um método denominado de DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*) [4] que é um método clássico que foi inicialmente aplicado para a análise de Ácido Desoxirribonucleico (DNA) e sua evolução [4,5], e em seguida em análises de comportamentos de séries temporais em diversas áreas do conhecimento humano, que de forma cronológica pode-se citar que também foi aplicado na análise do clima, nas aplicações de climate temperature behavior [6], nas análises das dinâmicas dos batimentos cardíacos [7], na prospecção de séries temporais de sismográficos e geológicos geologia [8], na própria análise climatológica [9], em cloud structure analysis [10], em river flow and discharge [11], em estudos de séries temporais que representavam os canais de íons [11], na área econômica para análises de séries temporais de dados financeiros bem como cotações de ações [12, 5], nas transições de fase [13, 14], na análise de flutuação de amplitude de sinais de raios-X oriundos de sistemas binários sistemas astrofísicos [15, 16], na transmissão de energia de proteínas [17], nos registros de comportamentos de séries temporais de amplitudes de manchas solares, na propagação e difusão da dengue fever [17, 18].

Estes mesmos trabalhos citados indicam, direta ou indiretamente, que diversos fenômenos naturais têm como propriedade comum uma dinâmica caracterizada pela existência de correlações de longo alcance, ou seja, quando a sua função de autocorrelação diminui (ou aumenta) seguindo uma lei de potência [19]. Ocorre que alguns destes fenômenos são citados com a presença de duas escalas distintas na análise de séries temporais, a velocidade do vento, por exemplo, é um deles, não obstante, a pressão, temperatura (de bulbo seco e de ponto de orvalho) e umidade não têm estes registros com o uso da técnica DFA na localidade em pesquisa. No caso da velocidade do vento, citam-se, como exemplos, os trabalhos [20, 21, 22, 23]. Além da variável velocidade do vento, análise de séries temporais via DFA também tem sido aplicada para outras variáveis meteorológicas e climatológicas, tais como chuva [24], umidade relativa [25], temperatura [1], cloud breaking [9], entretanto as mesmas ainda não foram analisadas sob o ponto de vista histórico e na atualidade em Salvador, Bahia.

As flutuações na velocidade do vento, em curtas escalas de tempo (horas), são dominadas por fenômenos atmosféricos governados por um sistema local ou regional, enquanto que para grandes escalas de tempo (dias a meses) as flutuações são influenciadas por um sistema mais geral denominado de sistema global, conforme preconizam [8]. A detecção deste fenômeno nas demais variáveis analisadas, ou seja, da pressão atmosférica no nível da estação, a temperatura de Bulbo Seco, a temperatura de ponto de orvalho e a umidade relativa do ar, independentemente das escalas, podem indicar a existência de correlação entre



elas também, bem como ao fato de serem regidos de forma concomitante por fenômenos globais em longa escala de tempo e flutuações locais em pequenas escalas temporais.

Observa-se também que mais recentemente [23] analisaram correlações em séries temporais diárias de velocidade do vento na ilha de Fernando de Noronha (360 km offshore from the Brazilian coast in the Atlantic Ocean), nordeste do Brasil, usando DFA. Encontraram, para esta região que não tem influência da orografia continental, que o vento exibe correlação de longo alcance de forma persistente, não apresentando *crossover*. Vale o registro de que estes trabalhos citados anteriormente indicam o comportamento do *crossover* para velocidade do vento em regiões continentais ou costeiras com influências forte da dinâmica e orografias continentais, indicando um possível comportamento universal das flutuações de velocidade do vento, não indicando o comportamento das demais variáveis nem a existência de correlação entre elas.

Com base no exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho é analisar as séries temporais destas variáveis climatológicas na localidade de Ondina, em Salvador, Bahia, para verificar a existência de correlações de longo alcance e leis de potência associadas a cada uma delas. Para consolidar estes objetivos utiliza-se a técnica DFA em dados anemométricos obtidos a 10 m de altura na estação meteorológica desta localidade em horizonte de tempo de mais de 50 anos e faz-se análise do comportamento do mesmo em diferentes intervalos de tempo neste período. Os dados medidos da velocidade do vento e demais variáveis são analisados com o método DFA [4] seguido de comparações entre as análises de existência de leis de potência.

2. METODOLOGIA

O uso dos dados acumulados na estação meteorológica remete-nos a análise dos mesmos como sendo séries temporais, que são definidas como o conjunto de dados que são coletados, geralmente, em intervalos regulares de tempo e que se diferenciam dos dados coletados aleatoriamente devido ao fato de representarem a evolução temporal da sequência da dinâmica de uma determinada variável específica, neste caso da velocidade do vento, da temperatura, da pressão atmosférica, da umidade do ar, onde se tem o ordenamento desta série de forma cronológica [21].

A análise feita através do método DFA privilegia a percepção das flutuações sem tendências que foi introduzida [4] para análise de sequências gênicas e, a partir daí, vem sendo usada como uma técnica para quantificar correlações em séries temporais não estacionárias em diversas aplicações [6, 7, 9, 10], este método é uma derivação do método denominado FA (*Fluctuation Analysis*), pois o DFA elimina a tendência da série temporal em diferentes escalas, analisando especificamente flutuações intrínsecas dos dados e tem como algoritmo a integração da série de tempo a ser analisada x_i ($i = 1, 2, \dots, N$), onde N é o número de amostras da série e nesta pesquisa tem-se séries distintas, representando as variáveis em análise citadas anteriormente, de forma que o primeiro passo trata de obter os valores de normalização de cada valor da série com a relação em relação à média aritmética



dos valores da própria série para cada série temporal das variáveis em análise, de forma que, em segundo passo, constrói-se o perfil de soma destes novos valores normalizados e divide-se esta nova soma por segmentos não sobrepostos de comprimento s , considerando-se o fato de que, se N_s não é inteiro de forma que:

$$F(s) = \left[\frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} F_s^2(v) \right]^{1/2} \quad (1)$$

Se n é o grau do ajuste polinomial tem-se que $F^{(n)}(s)$ representa a função flutuação de diferentes ordens de correção. Se a série original tem correlação de longo alcance, então $F^{(n)}(s)$ aumenta com s de acordo com a lei de potência,

$$F^{(n)}(s) \propto s^\alpha \quad (1)$$

Logo, um gráfico em escalas logarítmicas da flutuação versus s é calculado de forma representar a existência de autossimilaridade α , que quantifica a natureza das correlações da série temporal conforme Tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Valores do expoente de escala e implicações fenomenológicas

Valores de α	Caracterização da Série	Descrição Comportamental	Implicações e Desdobramentos
$0 < \alpha < 0.5$	Comportamento antipersistente	Valores grandes (pequenos) tendem a serem seguidos por valores pequenos (grandes) e desta forma tem-se as séries temporais anti-correlacionadas.	Valores altos são normalmente seguidos por valores baixos e vice-versa.
$\alpha \approx 0.5$	Comporta-se sem memória e apresenta um passeio aleatório, caracterizando-se como uma série não correlacionada.	Apresenta valor zero para a função de autocorrelação, o que por vezes é denominado de ruído gaussiano branco.	Sinal sem nenhuma correlação. Isso significa que não se pode relacionar o comportamento passado com o comportamento da série no futuro, porque não há memória no processo.
$0.5 < \alpha < 1$	Implica que a série original apresenta correlação de longo alcance	Valores grandes (pequenos) tendem a serem seguidos por valores grandes (pequenos), ou seja, tem-se a existência de séries temporais correlacionadas de longo alcance, indicando-se uma série persistente.	Valores altos (baixos) são normalmente seguidos por valores altos (baixos).
$\alpha \geq 1$	A dinâmica do sistema é caracterizada por não ser estacionário.	Regime transitório ou condições transitórias.	<div>Para $\alpha < 3/2$, trata-se de um comportamento subdifusivo</div> <div>Para $\alpha = 3/2$ tem-se um comportamento difusivo</div> <div>Para $\alpha > 3/2$ tem-se um sinal superdifusivo.</div> <div>Para outros valores de $\alpha \geq 1$ tem-se outros comportamentos de superdifusividade.</div>



Desta forma se verifica com a técnica DFA os conceitos de autossimilaridade nas estruturas de cada variável considerada [20], pois ao extrair-se uma fração da mesma e aumentando-a até o tamanho da estrutura original com o mesmo fator de ampliação, para o comprimento e largura, tem-se as mesmas em semelhanças tornando-se assim possível comparar as propriedades estatísticas de cada uma delas a fim de considerar o fractal respectivo [4].

As séries temporais analisadas neste trabalho foram coletadas na estação meteorológica de Ondina com periodicidade de coleta padronizada de uma em uma hora com horizonte cronológico variável, iniciando-se em 1964 até os dias atuais, não obstante, analisou-se o comportamento das mesmas nos diversos anos em registro. Vale a observação de que nem toda a base de dados analisada tem a mesma periodicidade, em especial os dados mais antigos têm os seus registros com lacunas de coleta, o que demandou de um tratamento seletivo para os dados que foram efetivamente analisados de forma a não proceder o preenchimento ou alteração algorítmica ou aleatória das bases de dados, não obstante foram excluídos e não analisados períodos que não apresentaram os dados que permitissem a aplicações do método DFA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados medidos foram submetidos à análise de flutuação destendenciada, ou seja, retirada a tendência da série temporal em diferentes escalas, analisando flutuações intrínsecas dos dados. Desta forma, é possível permitir o registro de existência de correlação entre a série e lei de potência, indicando uma tendência previsível de comportamento da mesma, o que poderá desdobrar-se em previsibilidade da potência eólica local, quando se analisa a velocidade do vento, e as tendências dos ciclos climatológicos locais, com a análise das demais variáveis com esta mesma metodologia.

De uma forma geral os dados indicam a existência de leis de potencia nas diversas variáveis, conforme se verifica em análises de curto, médio e longo prazos na Tabela 2 onde se pode observar que em análise de longo prazo e com dados lacunados verifica-se que no ano de 1964 tem-se um registro de comportamento subdifusivo, antes do crossover e com registro de correlação de longo alcance para após o crossover com valores grandes (pequenos) tendem a serem seguidos por valores grandes (pequenos), indicando-se uma série persistente neste período de três meses em análise, entretanto para as demais análises da velocidade do vento observa-se que a longo prazo, em análises superiores a cinco anos tem-se fortes registros de existência de correlação de longo alcance, ou seja, para valores grandes (pequenos) tendem-se a serem seguidos por valores grandes (pequenos), nos casos anteriores ao crossover, indicando a existência de séries temporais correlacionadas de longo alcance de forma a ter uma série persistente, inclusive após o crossover em todos os cenários e em intervalos de análise indicando uma série persistente da velocidade do vento em todos os cenários após o crossover.

Verifica-se também que para análises de curto prazo, em intervalo de tempo de uma semana, um mês e dois meses, tem-se que a dinâmica é caracterizada por ser não estacionária, ou seja, ocorrem os regimes transitórios com características subdifusivas para curtos intervalos de tempo, conforme observa-se na Figura 1 (a,



b, c, d, e, f, g, h, i).

Tabela 2: Valores do expoente de escala das variáveis medidas.

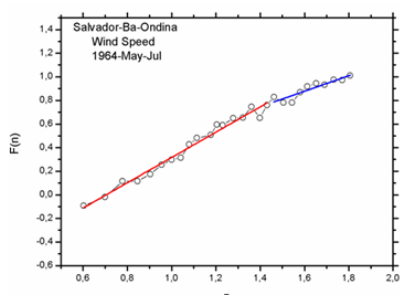
Variável Física em Análise	Período	Figura 1	Valores de expoente de escala $F(n)/n$			
			α_1	σ_1	α_2	σ_2
Velocidade do Vento (em diversos intervalos de tempo durante todo o período em registro)	1964-May-Jul	a	1,07	0,03	0,65	0,09
	2014-2016	b	1,24	0,08	0,56	0,08
	2014-Jan-Feb	c	1,22	0,09	0,64	0,08
	2014-Jan	d	1,22	0,09	0,64	0,08
	2014-Jan-1 Week	e	1,38	0,05	0,93	0,09
Pressão atmosférica no nível da estação	2014-2016	f	1,68	0,14	0,97	0,05
Temperatura de Bulbo Seco	2014-2016	g	1,50	0,04	0,15	0,05
Temperatura de Ponto de Orvalho	2014-2016	g	1,10	0,05	0,71	0,04
Umidade Relativa do Ar	2014-2016	i	1,08	0,12	0,20	0,07

Observações: Onde α é o coeficiente de autossimilaridade e α , σ_1 e σ_2 são os desvios padrões do mesmo.

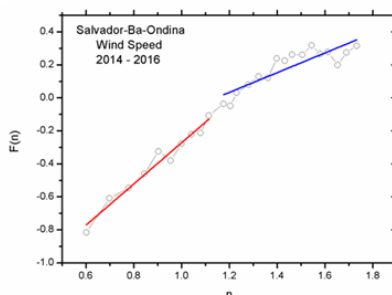
As demais variáveis, ou seja, a Pressão atmosférica no nível da estação em intervalos de análise de dois anos, a Temperatura de Bulbo Seco e a Temperatura de Ponto de Orvalho bem como a Umidade Relativa do Ar, apresentam características específicas antes e depois do crossover, pois, no caso da Pressão atmosférica no nível da estação e a Temperatura de Bulbo Seco indicam que as suas dinâmicas são caracterizadas por serem não estacionários e superdifusivos antes do crossover e indicando uma correlação de longo alcance para valores após o crossover, caracterizando então a existência de valores grandes (pequenos) seguidos de valores grandes (pequenos) após o crossover caracterizando a existência de séries temporais correlacionadas de longo alcance, ou seja, uma série persistente, com valores altos (baixos) que são normalmente seguidos por valores altos (baixos) para estas variáveis, conforme evidenciado na Figura 1.f e 1.g.

Já para o caso da Temperatura de Ponto de Orvalho no intervalo de 2014 a 2016 observa-se também uma dinâmica não estacionária subdifusiva antes do crossover e indicando uma correlação de longo alcance para valores após o crossover, caracterizando então a existência de valores grandes (pequenos) seguidos de valores grandes (pequenos), conforme observa-se na Figura 1.i.

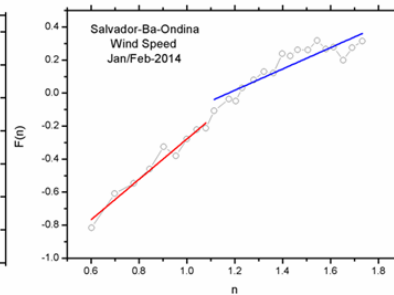
De uma forma geral o intervalo de tempo do crossover, que aparece neste e em outros trabalhos, ocorre de forma indexada à dinâmica da camada limite atmosférica (PBL), pois a mesma tem uma escala de tempo de aproximadamente um ciclo diário (~24 h), o qual é independente de posição geográfica, topografia e altitude. O que se verifica é que os valores numéricos do parâmetro α variam, mas as características subdifusivas e persistentes, representadas pelo fenômeno do crossover, permanecem.

**Figura 1:** a - Velocidade do vento durante o ano de 1964 nos meses de maio e julho.

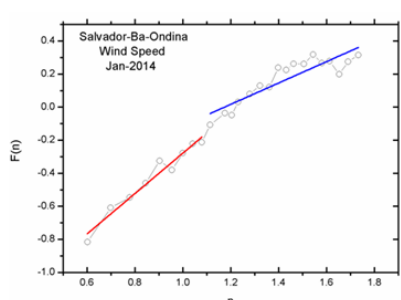
b - Velocidade do vento durante os anos de 2014 a 2016



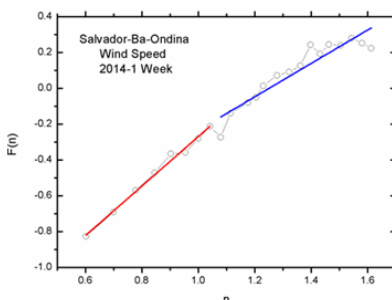
c - Velocidade do vento durante os anos de 2014 Jan-Fev



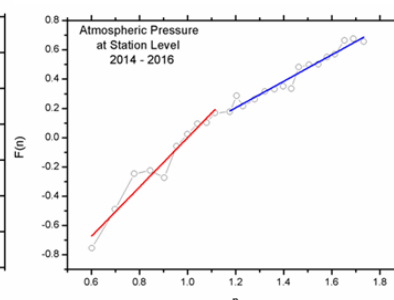
d - Velocidade do vento durante o ano de 2014 Jan.



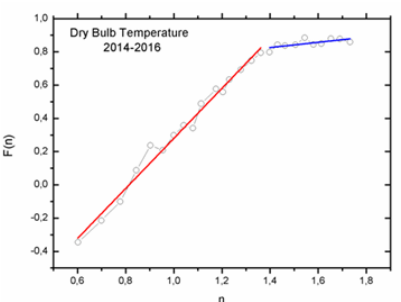
e - Velocidade do vento durante o ano de 2014 Jan primeira semana.



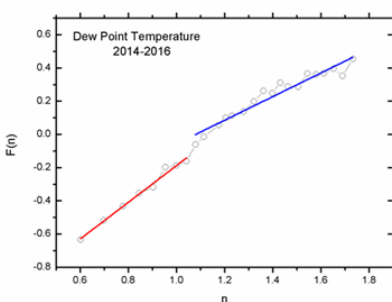
f - Pressão atmosférica de 2014 a 2016



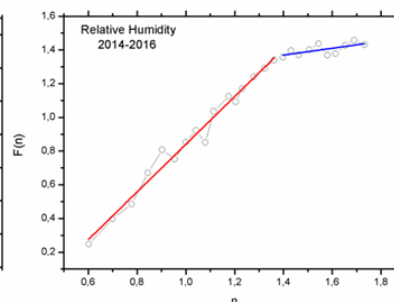
g - Temperatura de Bulbo Seco de 2014 a 2016



h - Temperatura de ponto de Orvalho de 2014 a 2016



i - Umidade Relativa de 2014 a 2016



Entretanto, os efeitos de mesoescala (intermediário entre escala sinótica e microescala) afetam os processos que ocorrem na PBL, que por sua vez afetam diretamente a dinâmica e a termodinâmica da atmosfera [23], refletindo-se na dinâmica de cada uma das variáveis analisadas, pois estas estão também auto-indexadas e indexadas a esta dinâmica, visto que a PBL é caracterizada por um ciclo diurno, que é forçado pela irradiação solar, aquecendo a superfície da terra durante o dia, e a radiação infravermelha liberada para o espaço resfriando a superfície da terra durante a noite, sendo influenciada por forças externas de mesoescala, onde a turbulência gerada na PBL é proveniente desta interação, desdobrando-se assim na dinâmica de alteração das variáveis em estudo e implicando nos seus respectivos ciclos.

No que refere-se à geração de energia pode-se afirmar que a localidade em estudo, Ondina, em Salvador, apresenta, no seu aspecto histórico, potencial de geração de energia de matriz eólica, quiçá de matriz solar, pois, a literatura mostra que a energia eólica provém da radiação solar, uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre, não obstante a geração de energia de matriz solar demanda de área para planificação dos painéis solares, o que não é o caso, visto tratar-se de uma área urbana.



4. CONCLUSÃO

Com o exposto verifica-se que as análises dos dados históricos da região nos permitem uma melhor compreensão da dinâmica das grandezas climatológicas analisadas, onde registrou-se que a velocidade do vento, em análises de curto, médio e longo prazo, apresenta características subdifusivas, antes do ciclo de aparecimento do crossover e com correlações de longo alcance na sua média de análise geral; enquanto que a Pressão atmosférica, a Temperatura de Bulbo Seco e a Temperatura de Ponto de Orvalho apresentam características de superdifusidade antes do crossover e indicando uma correlação de longo alcance para valores após o crossover, e a Temperatura de Ponto de Orvalho apresenta uma dinâmica subdifusiva, antes do crossover, e correlação de longo alcance para valores após o crossover.

Estas análises também indicam que estes registros devem provar-se úteis para a validação de modelos climáticos globais, pois ratificam os mesmos e servem como lastro para corroborar as suas previsibilidades. Evidencia-se também que o fenômeno do crossover sempre ocorrem com variações médias dos períodos dos seus ciclos, com verificação do comportamento de escala em todas as variáveis analisadas.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ ORUM, M.; KOÇAK, K., 2009. **Application of detrended fluctuation analysis to temperature data from Turkey**. Int. J. Climatol. 29, 2130–2136.
- ² BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/>. Acesso em 10 ago 2018.
- ³ KURNAZ, M.L., 2004. **Application of detrended fluctuation analysis to monthly average of the maximum daily temperatures to resolve different climates**. Fractals 12, 365–373.
- ⁴ PENG C.K., *et al.*, 1994. **Mosaic organization of DNA nucleotides**. Physical Review E 49(2), 1685-1989.
- ⁵ STANLEY, H.E., *et al.* 1999. **Scaling features of noncoding DNA**. Physica A 273, 1-18.
- ⁶ KOSCIELNY-BUNDE, E.; *et al.*. 1998. **Indication of a Universal Persistence Law Governing Atmospheric Variability**. Phys. Rev. Lett. 81, 729-732.
- ⁷ IVANOV, P., *et al.*, 1996. **Scaling behavior of heartbeat intervals obtained by wavelet-based time-series analysis**. Nature 383, 323-327.
- ⁸ MALAMUD, B.D. and TURCOTTE, D.L., 1999. **Self-affine time series: measures of weak and strong persistence**. Journal of Statistical Planning and Inference 80(1–2), 173-196.
- ⁹ IVANOVA, K. and AUSLOOS, M., 1999. **Application of the detrended fluctuation analysis (DFA) method for describing cloud breaking**. Physica A 274, 349–354.
- ¹⁰ IVANOVA, K., *et al.*, 2000. **Break-up of stratus cloud structure predicted from non-Brownian motion liquid water and brightness temperature fluctuations**. Europhys. Lett. 52, 40-46.
- ¹¹ MONTANARI, A., ROSSO, R. and TAQQU, M.S., 2000. **A seasonal fractional ARIMA model applied to the Nile River monthly flows at Aswan**. Water Resour. Res. 36, 1249-1259.
- ¹² LIU, Y., *et al.* 1997. **Correlations in economic time series**. Physica A 245, 437-440.



- ¹³ SIWY, Z., AUSLOSS, M. and IVANOVA, K., 2002. **Correlation studies of open and closed state fluctuations in an ion channel: Analysis of ion current through a large-conductance locust potassium channel.** Phys. Rev. E 65, 031907.
- ¹⁴ ZEBENDE, G.F., da SILVA, M.V.S, ROSA, A.C.P., ALVES, A.S., de JESUS, J.C.O. and MORET, M.A., 2004. **Studying long-range correlations in a liquid–vapor-phase transition.** Physica A 342, 322-328.
- ¹⁵ ZEBENDE, G.F., *et all.*, 2005. **Universal persistence in astrophysical sources.** Physica A 349, 452-458.
- ¹⁶ MORET, M.A., 2014. **Self-affinity and nonextensivity of sunspots.** Phys. Lett. A 378, 494-496.
- ¹⁷ AZEVEDO, S.M., *et all.*, 2016. **Self-affinity in the dengue fever time series.** Int. J. Mod. Phys. C 27, 1650143(1-9).
- ¹⁸ FIGUEIREDO, P.H., MORET, M.A., PASCUTTI, P.G., NOGUEIRA, E. and COUTINHO, S., 2010. **Self-affine analysis of protein energy.** Physica A 389, 2682-2686.
- ¹⁹ TSONIS, A.A., ROEBBER, P.J. and ELSNER, J.B., 1999. **Long-range correlations in the extratropical atmospheric circulation: origins and implications.** Journal of Climate 12, 1534-1541.
- ²⁰ KAVASSERI, R.G. and NAGARAJAN, R., 2004. **Evidence of crossover phenomena in wind speed data.** IEEE Transactions on Circuits and Systems 51, 2255-2262.
- ²¹ KOÇAK, K., 2009. **Examination of persistence properties of wind speed records using detrended fluctuation analysis.** Energy 34, 1980–1985.
- ²² SANTOS, M.O., STOSIC, T. and STOSIC, B.D., 2012. **Long-term correlations in hourly wind speed records in Pernambuco, Brazil.** Physica A 391, 1546–1552.
- ²³ SANTOS, J.V.C., MOREIRA, D.M., MORET, M.A., NASCIMENTO, E.G.S. **Analysis of long-range correlations of wind speed in different regions of Bahia and the Abrolhos Archipelago, Brazil.** 2018. Energy 167 (2019) 680-687.
- ²⁴ Matsoukas, A., Islam, S.; Rodriguez-Iturbe, I., 2000. **Detrended fluctuation analysis of rainfall and streamfall time series.** Journal of geophysical research 105, 105-129.
- ²⁵ Chen, X., Guangxing, L. and Zuntao, F., 2007. **Long-range correlations in daily relative humidity fluctuations: new indexes to characterize the climate regions over China.** Geophysical Research Letters 34, L07804.